

燃烧乳化油滴中の水粒子の挙動と火炎形状に関する実験的研究

著者	張 涛 , 孫 平 , 岡田 博
雑誌名	東京海洋大学研究報告
巻	3
ページ	39-43
発行年	2007-03-30
URL	http://id.nii.ac.jp/1342/00000187/

燃焼乳化油滴中の水粒子の挙動と火炎形状に関する実験的研究

張 濤^{*1}・孫 平^{*2}・岡田 博^{*3}

(Accepted October 13, 2006)

Experimental Study on Behavior of Water Particles and Flame Shapes in Burning Emulsified Fuel Droplet

Tao ZHANG^{*1}, Ping SUN^{*2} and Hiroshi OKADA^{*3}

Abstract: In the combustion of emulsified fuel droplets, when the water particles in the emulsified fuel droplet are heated by the ambience whose temperature is about 1000K, the water particles are rapidly vaporized, And then we can observe phenomena of water vapor's puffing, micro explosion, and disruption. In this study, we observed the combustion of emulsified fuel droplet in atmosphere and high-pressure ambience. The following results were found: ① In the atmospheric ambience, the bigger the water particles in emulsified fuel, the violent the micro explosion. ② In the high-pressure ambience, the higher the ambient pressure, the weak the scattering of the water particles and vapor.

Key words: Emulsified fuel, Droplet combustion, Diesel Engine, Micro explosion

第一章 はじめに

ディーゼル機関や噴霧燃焼装置における研究では、燃料油を水乳化し、作製した乳化燃料油の燃焼過程においては、水粒子の急速な気化膨張とマイクロ爆発による NO_x の低減¹⁾や、場合によっては排出黒煙の低減、熱効率の改善²⁾などが報告されている。しかし、噴霧燃焼のマイクロ爆発現象の観察が難しく、絡む因子も複雑であるため、燃料油中の水粒子の作用機構やマイクロ爆発現象について十分に理解されていない。

乳化油滴の燃焼過程においては、乳化油滴中の水粒子が過熱されると、急激に気化される現象が生じる。この際、水蒸気の吹き出し現象、マイクロ爆発現象、または油滴の分裂現象がおこる。噴霧燃焼の場合、この現象によって噴霧を構成する油滴の二次微粒化が起こり、周囲空気との混合が促進される。それにより乳化燃料油の NO_x 抑制効果を得ながら、雰囲気との混合状態がよくなって、過剰空気が少なくて済むと燃焼効率が悪くならないといわれている。マイクロ爆発現象は、主に以下のように分類³⁾することができる。①パフing現象 (puffing, 水蒸気が比較的穏やかに噴出する現象)、②マイクロ爆発現象 (micro explosion, 水蒸気と水の噴出とともに大小無数の小滴を発生する現象)、③分裂現象 (disruption, micro explosion が一層激しくなり、乳化油滴全体が瞬時にして大小無数の小滴に分かれ、元の油滴も同時に消失する現象) などに分けられる。

本研究では、水粒子径の異なる乳化燃料油滴を燃焼させ、その過程の火炎形状などを観察し、水粒子径及び雰囲気圧力のマイクロ爆発現象への影響を調べた。

第二章 実験装置及び乳化燃料

1. 試験装置

図1には、本実験で用いた装置の概略図を示す。実験装置は主に、高圧容器、石英懸垂糸（直径 0.5mm、先端直径 1mm）及びその固定装置、燃料油滴の垂下装置、加熱炉、燃焼室、撮影装置から構成される。石英懸垂糸は操作棒①に固定されており、操作棒①を回転することによって石英懸垂糸とそれに垂下した油滴を燃焼炉内に挿入することができる。燃料垂下装置は注射針、ビニル管、注射器本体からなる。注射針は操作棒②に固定し、注射器本体は容器底に固定されており、操作棒③を回すと、注射器の中に充填した燃料油が針の先端から出る。燃焼室は加熱炉の上に設置されており、圧力容器の観測窓に向く面は耐熱ガラス製で、それによって、油滴燃焼の撮影（30コマ/秒）を行った。実験では、あらかじめ油滴を懸垂糸に懸垂させた後、所定の温度に保たれた燃焼室に入れて自己着火させた。燃焼室に入る時の時間を 0s とする。

^{*1} 三菱重工業（上海）有限公司（〒201502 中国上海市金山区興塔工業区興豪路10号）

^{*2} 江蘇大学汽車&交通学院（〒212013 中国江蘇省鎮江市）

^{*3} 東京海洋大学海洋工学部海洋電子機械工学科（〒135-8533 東京都江東区越中島2-1-6）

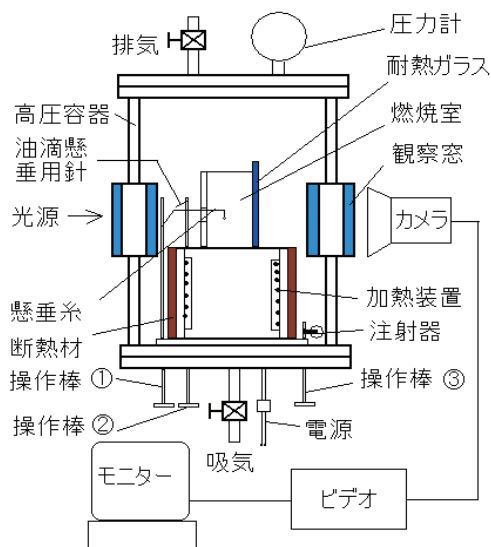


図1 実験装置の概略図

2. 試験に用いた乳化燃料

本研究においては、燃料油として、A 重油を用いた。A 重油を水乳化し、乳化燃料油を作製した。水添加率を一定にし、乳化剤添加率を変えることにより、水粒子径の異なる乳化燃料油を作製することにした。本実験では水粒子径は約 $0.2 \mu\text{m}$ ⁴⁾ の乳化燃料油（表1中のE1～E4）と水粒子径の異なる乳化燃料油（表1中のE5～E8）を用いた。

表1 乳化油種類及びその平均水粒子径

乳化燃料 (vol%)	平均水粒子径 (μm)
E1 $\phi=4.7$ $\varepsilon=2$	0.2
E2 $\phi=9.1$ $\varepsilon=2$	0.2
E3 $\phi=13$ $\varepsilon=2$	0.2
E4 $\phi=16.7$ $\varepsilon=2$	0.2
E5 $\phi=20$ $\varepsilon=2$	2.4
E6 $\phi=20$ $\varepsilon=1$	4.9
E7 $\phi=20$ $\varepsilon=0.5$	6.5
E8 $\phi=20$ $\varepsilon=0.2$	7.8

実験を行った油滴は、楕円体で、短径が 1.5mm で、長径が 2.3mm である。本実験では表1に示した乳化燃料油を使用した。表1においては、 ε は乳化燃料油の乳化剤添加率、 ϕ は乳化燃料油の水添加率で、単位は vol% である。また、後に解析しやすくするため、乳化燃料油をそれぞれ E1～E8 と称する。

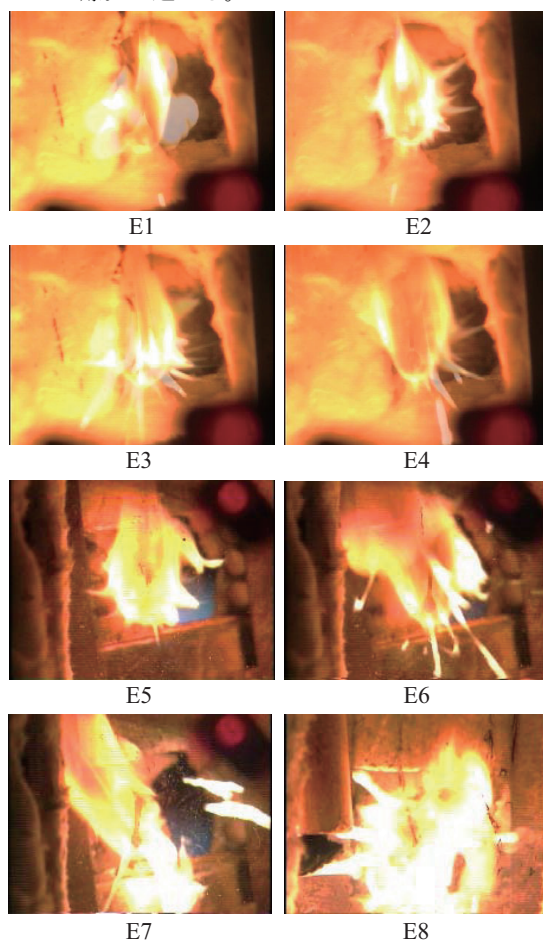
第三章 試験結果及び考察

本研究では、乳化油滴を大気圧及び高温高压雰囲気中で燃焼させ、乳化油滴の水粒子径による火炎の形状の変化を観察し、マイクロ爆発の種類（前述）を判定するようにした。また、燃焼過程において、マイクロ爆発の発生時間が燃焼時間に対する割合と火炎面積の変化を示す。

1. 大気圧における乳化油滴の燃焼

1) 火炎形状

図2に示すように、E1～E8の順に乳化油滴の水粒子径が大きくなっており、マイクロ爆発も激しくなっている。E1～E4はほとんどパフリング現象だけが起る。E5とE6はマイクロ爆発が起る。

図2 乳化燃料油滴の火炎形状
(雰囲気温度 1000K , 雰囲気圧力 0.1MPa)

E7とE8は分裂現象が起り、乳化油滴は一瞬に無数の小さい油滴に分裂し、燃焼する、火炎形状もより大きく観える。

2) 着火前に水滴の飛び出し

図3には、雰囲気温度が 1100K において、E5 乳化燃料油滴が着火する前の写真を示す。上の写真からは油滴表面に凹凸の様子が観える、それは乳化燃料油中の水粒子が過熱され、水または水蒸気が油滴から噴出することによって、

形成されたものと考えられる。下の写真からは、火花が油滴から飛び出すように観えるが、それは油滴から飛び出した水または水蒸気によって、持ち出された燃料油が着火したものと考えられる。前述のように水粒子径が小さい乳化燃料油滴のマイクロ爆発の発生時間は短い、特に雰囲気温度が高い場合、着火する前に水が早く蒸発し、乳化燃料油滴から飛び出すことがこのことから確認できる。なお、ほかの水粒子径が大きい乳化燃料油について、このようなことは観察されなかった。



図3 着火前における乳化燃料油中の水滴の飛び出し（上の写真）と微細化燃料油粒子の着火（下の写真）
 （ ϕ : 20% ϵ : 2% E5 T_a : 1100K p_a : 0.1MPa）

3) パフイングまたはマイクロ爆発の時間的割合

燃焼時間は油滴が燃焼室に入ってから、燃焼が終わるまでの時間とする。ビデオ映像から、マイクロ爆発またはパフイング現象を確認し、マイクロ爆発またはパフイングの発生する時間の燃焼時間に対する割合を計算した。図4にはビデオ映像から燃焼時間に対して乳化油滴のマイクロ爆発が発生する時間が占める割合を示す。水粒子径が大きくなると、乳化油滴は燃焼過程においてパフイングまたはマイクロ爆発の時間的割合は高くなる。 ϵ が高くなると水粒子が油滴中に細かく分布されるので、加熱されると、早く蒸発し、パフイングまたはマイクロ爆発が発生する時間が短いと考えられる。

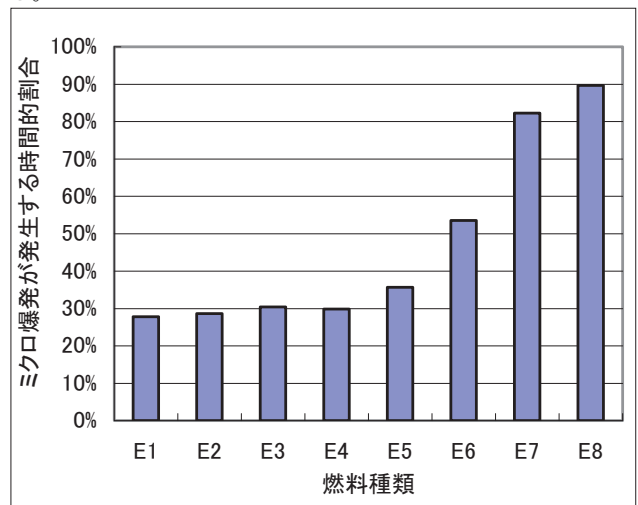


図4 乳化油滴のマイクロ爆発が発生する時間的割合
 (0.1MPa, 1000K)

4) 火炎投影面積

乳化燃料油滴のマイクロ爆発の強さを数値として表わすことは難しい。ここではマイクロ爆発が起こると、火炎の投影面積が急増することに着目し、各雰囲気圧において、油滴が燃焼室入って、着火してから、燃焼が終わるまでの火炎投影面積の時間の変化を求めることにした。火炎投影面積はビデオカメラで撮影した映像から火炎の輪郭面積を測り、実際の面積に換算したものである。

図5 には、A 重油及びその乳化燃料油 E4, E6, E8 の大気圧雰囲気下での火炎投影面積の時間変化を示す（3回の平均値）。着火した直後から、乳化燃料油滴の火炎投影面積が急に上昇し、A 重油滴より大きくなる。乳化燃料油滴においては、水粒子径の最も大きい E8 の火炎投影面積が一番大きい。燃焼の前半では、水粒子径が小さくなると、火炎投影面積が小さくなる。燃焼の後半においては、乳化燃料油滴の火炎投影面積が急速に減少し、A 重油滴のそれより小さくなる。乳化燃料油では、 ϵ が大きくなると油滴中の水粒子径が小さくなり、燃料油滴は火炎投影面積が小さくなる。

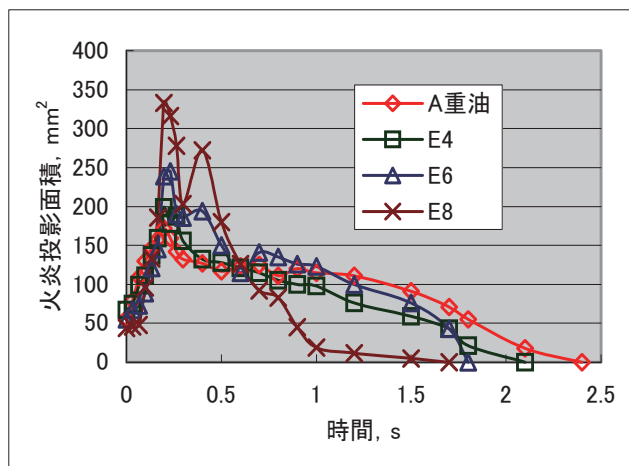


図5 大気圧下の火炎投影面積の時間変化
(0.1MPa, 1000K)

2. 高圧雰囲気における乳化油滴の燃焼

図6, 図7と図8にはそれぞれ雰囲気気圧が0.6MPa, 1.1MPaと1.6MPa時のA重油と乳化油滴の燃焼の様子を示す。0.6MPa時の火炎投影面積の比較は図9に示す。雰囲気気圧が高くなると, A重油滴と乳化燃料油滴の火炎投影面積はともに減少する。雰囲気気圧が低いとき, 燃焼前半ではA重油滴の火炎投影面積より, 乳化燃料油滴のそれが大きく上回る。燃焼の後半では, 乳化燃料油滴の火炎投影面積が急速に減少し, A重油のそれより小さくなる。雰囲気気圧が高くなると, A重油の火炎投影面積と乳化燃料油のその差が小さくなる。また, 雰囲気気圧が高くなると, 火炎の写真からも, ミクロ爆発またはパフリング現象も弱くなる。また, 雰囲気気圧が高くなると, 火炎の写真からも, ミクロ爆発またはパフリング現象も弱くなる。

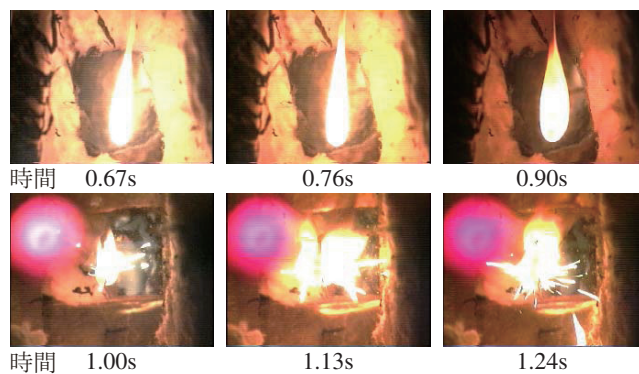


図6 0.6MPa 雰囲気気圧における A 重油滴 (上段) 及び乳化燃料油滴 (下段) の火炎写真 (1000K, A 重油と E8)

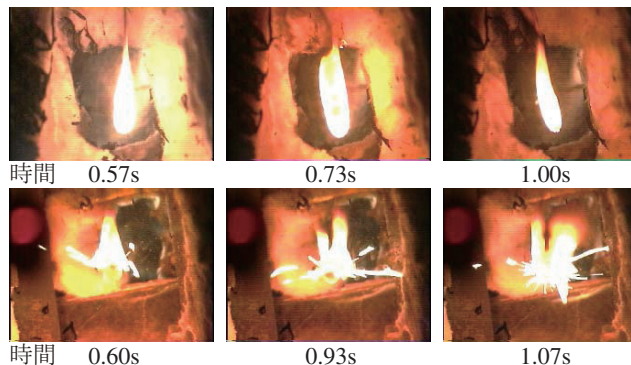


図7 1.1MPa 雰囲気気圧における A 重油滴 (上段) 及び乳化燃料油滴 (下段) の火炎写真 (1000K, A 重油と E8)

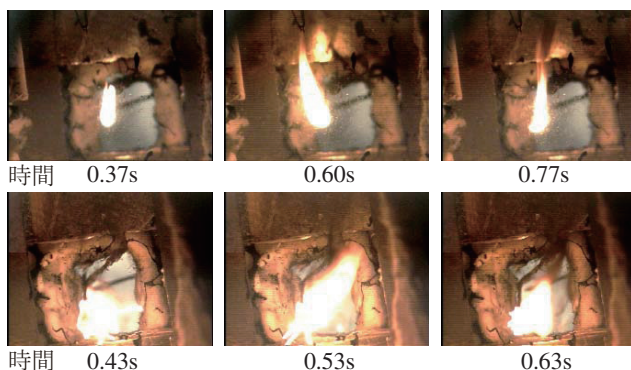


図8 1.6MPa 雰囲気気圧における A 重油滴 (上段) 及び乳化燃料油滴 (下段) の火炎写真 (1000K, A 重油と E8)

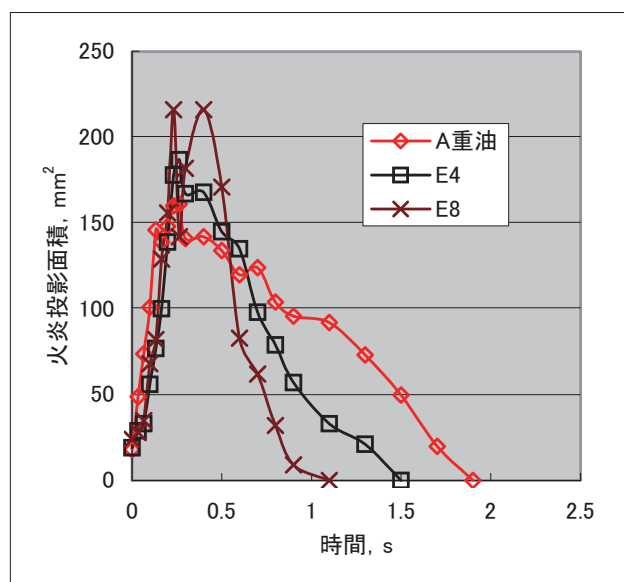


図9 高圧雰囲気における火炎投影面積の時間変化
(0.6MPa, 1000K)

第四章 ま と め

高温高圧雰囲気において、乳化燃料油滴を燃焼させ、水粒子径の違いによる火炎形状を観察し、以下のことがわかった。

- 1) 水粒子径が小さくなると、パフリング現象が生じ、水粒子径が大きくなるにつれ、マイクロ爆発または分裂が起こる。
- 2) 水粒子径が大きくなると、燃焼過程において、マイクロ爆発が発生する時間割合が長くなる。
- 3) 雰囲気圧が高くなると、パフリング現象のみが観察された。
- 4) 乳化油滴の水粒子径が小さく、また雰囲気圧が高くなると、火炎投影面積は小さくなる。

なお、この実験に用いた乳化燃料油 (E1 ～ E4) は東芝プラントシステム (株) 技術開発からご提供していただいた。ここにお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 岡田博. 日本マリンエンジニアリング学会, マリンエンジニアリング月例講演会, (平成 13 年 7 月), 18 ～ 25.
- 2) 広安博之ほか 2 名. 日本機械学会論文集 (B 編), 48 (430), (1982), 1182 ～ 1189.
- 3) 岩間彬 ほか 3 名. 燃料協会誌, 58 (632), (1979), 1041 ～ 1054.
- 4) 大河原孝ほか 6 名. 第 41 回燃焼シンポジウム講演会論文集 (平成 15 年 12 月), D232, 271 ～ 272.

燃焼乳化油滴中の水粒子の挙動と火炎形状に関する実験的研究

張 濤^{*1}・孫 平^{*2}・岡田 博^{*3}

- | | | |
|---|--|---|
| (| ^{*1} 三菱重工業 (上海) 有限公司
^{*2} 江蘇大学汽車&交通学院
^{*3} 東京海洋大学海洋工学部海洋電子機械工学科 |) |
|---|--|---|

乳化油滴の燃焼過程においては、乳化油滴中の水粒子が過熱されると、急激に気化される現象が生じる。この際、水蒸気の吹き出し現象、マイクロ爆発現象、または油滴の分裂現象がおこる。本研究では、乳化燃料油滴の大気圧雰囲気と高圧雰囲気における燃焼過程を観察し、その結果から、以下のことが判った。①大気圧雰囲気において、乳化燃料油中の水粒子径が大きくなると、マイクロ爆発が激しくなる。乳化燃料油中の水粒子径が小さい場合、油滴が着火する前に水粒子が大いに蒸発することが観察された。②高圧雰囲気において、雰囲気圧が高くなると、水粒子による気化された水蒸気の飛散する動きが鈍くなる。

キーワード： 乳化燃料, 油滴燃焼, ディーゼル機関, ミクロ爆発